

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE MEDICINA
CURSO DE NUTRIÇÃO

RODRIGO PEREIRA DE ALMEIDA

**ANÁLISE VETORIAL DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA E ÂNGULO DE FASE EM
RESPOSTA AO DESEMPENHO DO ERGÔMETRO DE REMO DE 2000M**

PORTO ALEGRE

2024

RODRIGO PEREIRA DE ALMEIDA

**ANÁLISE VETORIAL DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA E ÂNGULO DE FASE EM
RESPOSTA AO DESEMPENHO DO ERGÔMETRO DE REMO DE 2000M**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Nutrição da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Nutrição.

Orientadora: Gabriela Corrêa Souza

Co-Orientadora: Fernanda Donner Alves

PORTO ALEGRE

2024

CIP - Catalogação na Publicação

de Almeida, Rodrigo
Análise Vetorial de Impedância Elétrica e ângulo de fase em resposta ao desempenho do ergômetro de remo de 2000m / Rodrigo de Almeida. -- 2024.
26 f.
Orientadora: Gabriela Corrêa Souza.

Coorientadora: Fernanda Donner Alves.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Medicina, Curso de Nutrição, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Exercício físico. 2. Fadiga. 3. Impedância elétrica. I. Corrêa Souza, Gabriela, orient. II. Donner Alves, Fernanda, coorient. III. Título.

RESUMO

Introdução: Atletas são expostos a treinamentos e exercícios extenuantes diariamente. Desse modo, com frequência apresentam sinais e sintomas de dano muscular induzido pelo exercício (DMIE), dentre eles alterações nos tecidos a nível celular. A bioimpedância elétrica e o ângulo de fase (AF) são métodos que podem avaliar a hidratação corporal e o estado celular, e o método de análise vetorial de bioimpedância (BIVA) pode avaliar alterações na composição corporal, apesar deste não estar completamente estabelecido em populações de atletas. Sendo assim é importante verificar a aplicabilidade destes nessa população. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a mudança no AF e BIVA em resposta a um exercício de alta intensidade por meio de teste de remoergômetro de 2.000m e sua associação com marcadores de dano e fadiga muscular.

Palavras-chave: exercício físico; fadiga; impedância elétrica

ABSTRACT

Introduction: Athletes undergo strenuous training, leading to exercise-induced muscle damage (EIMD) symptoms. Electrical bioimpedance and phase angle (PA) assess body hydration and cellular status. Bioimpedance vector analysis (BIVA) can evaluate body composition changes, although its applicability in athletes is not fully established. This study aims to assess PA and BIVA changes in response to high-intensity exercise (2,000m rowing ergometer test) and their association with muscle damage and fatigue markers.

Keywords: exercise, fatigue, bioelectrical impedance

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACT	Água Corporal Total
AF	Ângulo de Fase
ATP	Adenosina Trifosfato
BIA	Bioimpedância Elétrica
BIVA	Análise Vetorial de Bioimpedância
CCL2	Ligante de Quimiocina 2
DMIE	Dano Muscular Induzido por Exercício
DMIT	Dor Muscular de Início Tardio
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EAV	Escala Análoga Visual
EROs	Espécies Reativas de Oxigênio
GEE	Equações de Estimativas Generalizadas
H	Height (Altura)
IFN- γ	Interferon-Gama
IL-1	Interleucina-1
IL-2	Interleucina-2
IL-6	Interleucina-6
IL-10	Interleucina-10
ISAK	Sociedade Internacional para Avanço da Cineantropometria
LDL	Lipídio de Baixa Densidade
LEC	Líquido Extracelular
LIC	Líquido Intracelular
MG	Massa Gorda
MLG	Massa Livre de Gordura
R	Resistência
TNF- α	Fator de Necrose Tumoral
Xc	Reatância
Z	Impedância

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 REMO OLÍMPICO E TREINAMENTO	3
2.2 REMO E FADIGA	5
2.3 DANO MUSCULAR INDUZIDO PELO EXERCÍCIO (DMIE) E SEUS POSSÍVEIS MARCADORES	6
2.4 COMPOSIÇÃO CORPORAL E BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA	9
2.5 ÂNGULO DE FASE (AF)	10
2.6 ANÁLISE VETORIAL DE BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA (BIVA)	11
3 JUSTIFICATIVA	14
4 OBJETIVOS	15
4.1 OBJETIVO GERAL	15
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
5 MATERIAIS E MÉTODOS	16
5.1 DELINEAMENTO E POPULAÇÃO	16
5.2 AMOSTRAGEM	16
5.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO	16
5.4 TESTE DE EXERCÍCIO MÁXIMO DE 2000M EM UM REMO ERGÔMETRO	16
5.5 ESFORÇO PERCEBIDO SUBJETIVO	17
5.6 COMPOSIÇÃO CORPORAL	17
5.7 ÂNGULO DE FASE (AF) E ANÁLISE DO VETOR DE BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA (BIVA)	17
5.8 FORÇA DE MEMBROS INFERIORES (SALTO EM DISTÂNCIA EM PÉ)	18
5.9 FORÇA DE PREENSÃO MANUAL	18
5.10 ESCALA DE PERCEPÇÃO DE DOR	19
5.11 LACTATO CAPILAR	19
5.12 PROTOCOLO DO ESTUDO	19
5.13 ANÁLISE ESTATÍSTICA	21
5.14 ASPECTOS ÉTICOS	21
6 RESULTADOS	21
7 DISCUSSÃO	26
8 CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS	31
MATERIAL SUPLEMENTAR	39

1 INTRODUÇÃO

O remo é um esporte olímpico que demanda um conjunto de técnicas complexas, divididas em quatro principais fases (a pegada, a fase de propulsão, a finalização e a recuperação). As técnicas visam distribuir as forças produzidas pelo corpo para os remos e para o barco a fim de se alcançar maiores velocidades. O conjunto de movimentos é feito de forma repetitiva demandando uma grande quantidade de grupamentos musculares, incluindo pernas, tronco e braços. Sendo assim, o esporte não só demanda de técnica e estratégia, mas também das valências físicas do atleta e, portanto, peso, altura, massa muscular, capacidade aeróbia e anaeróbia estão diretamente ligados à performance do remador (MESSONNIER et al., 2005; BUCKERIDGE; BULL; MCGREGOR, 2014; YUSOF et al., 2022).

Para se inserir no âmbito competitivo e se adequar às necessidades fisiológicas das provas, os indivíduos possuem volumes de treinos exaustivos, com altas intensidades que implicam em estresse metabólico e adaptações do organismo constantemente (MESSONNIER et al., 2005). O volume de treino é mensurado a partir de quilômetros remados e tempo de treino, e segundo Steinacker et al. (1993), o volume de treino de remadores de nível internacional se dá em torno de 6000 km/ano ou 1000 horas/ano.

Uma das avaliações de desempenho em remo é realizada por meio do teste de 2.000m realizado em remoergômetro. Este mimetiza a distância padrão das provas internacionais de remo assim como os movimentos realizados durante o esporte, tendo menor custo, menor dificuldade de instalação, menos fragilidade e mais fácil calibração, quando comparado com o hidro ergômetro. Além disso, permite a avaliação individual dos atletas, isola os atletas dos efeitos ambientais presentes nas avaliações na água, e possui mais estudos de validação do método (SMITH; HOPKINS, 2012).

Após ser submetido a um volume de treino extenuante, ou o qual o atleta não está habituado (como o teste de 2.000m), é esperado que ele apresente dor muscular de início tardio. Essa se dá de 24 a 72 horas após o exercício, provocando dor e rigidez da musculatura, devido ao dano celular causado pelo esforço do novo estímulo ou do aumento de carga. Este dano, conhecido como dano muscular induzido pelo exercício (DMIE), ocorre nas fases concêntrica, isométrica, e, principalmente, excêntrica da contração muscular (BAUMERT et al., 2016).

Dentre os causadores deste fenômeno, estão o aumento de tensão em estruturas celulares, o aumento da temperatura, a produção intensa de metabólitos, e as alterações no controle neural, o que provoca a ruptura de sarcômeros (ARMSTRONG, 1984). A partir disso é desencadeada uma resposta inflamatória tardia complexa, que faz parte das adaptações e recuperação da musculatura, a qual dura de 5 a 7 dias após o exercício. Este processo inflamatório não está totalmente elucidado, mas vem sendo relacionado com a aumento de citocinas pró-inflamatórias, atividade leucocitária, extravasamento de enzimas intramusculares e infiltração de fluidos na camada intersticial e surgimento de edema intramuscular (SCHOENFELD, 2010; HOTFIEL et al., 2018).

Na literatura o uso da análise por bioimpedância elétrica (BIA) para estimar a composição corporal, incluindo massa muscular, já é bem estabelecido para indivíduos saudáveis. Este método não invasivo se mostrou de fácil utilização, com baixo custo e boa portabilidade para clubes esportivos e profissionais da área (NORMAN et al., 2012). Além disso, a BIA é capaz de refletir os danos celulares através do marcador chamado de Ângulo de Fase (AF), que é resultado da equação entre dois parâmetros: a resistência (R), ou seja, a resistência à corrente pelos fluidos intra e extracelulares, e da reatância (Xc), isto é, a capacitância das membranas celulares (CASTIZO-OLIER et al., 2018; MARINI et al., 2020). Na última década a análise vetorial da bioimpedância (BIVA), que resulta em um gráfico com a relação entre resistência (R) e reatância (Xc) da corrente elétrica ajustado para a altura do indivíduo, vem sendo estudada para fornecer informações mais precisas sobre o status celular e de fluidos corporais em atletas sem depender de equações generalizadas pré-definidas (CAMPA et al., 2023; CEBRIÁN-PONCE et al., 2023).

Sendo o AF um marcador de saúde celular, investigar as relações da BIVA e do AF com marcadores de DMIE, pode simplificar a avaliação e entender a magnitude da extensão do dano muscular, assim como abrir novos horizontes para intervenções de prevenção de lesões nos treinos ou na otimização da recuperação de atletas. Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar a mudança no AF e na BIVA em resposta a um teste de 2000m em remoergômetro e a suas associações com marcadores de dano e fadiga muscular.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

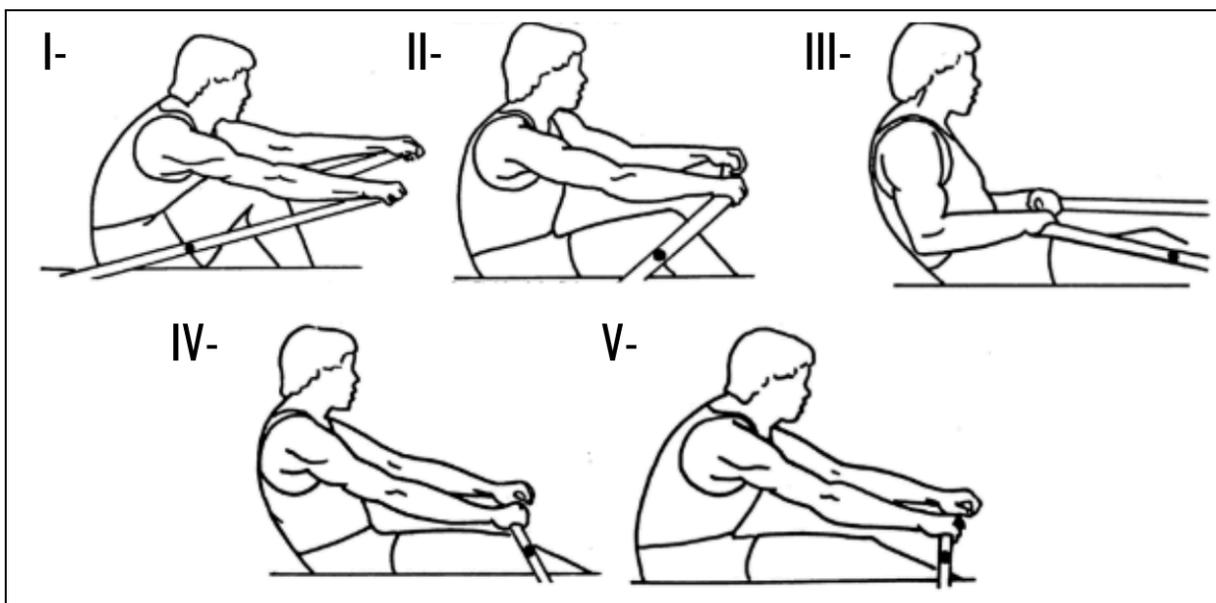
2.1 REMO OLÍMPICO E TREINAMENTO

O remo é uma modalidade que surgiu no início do século XIX na Inglaterra, como parte educacional das universidades, sendo praticada pelos alunos tanto de forma competitiva quanto como lazer. As competições começaram a ser datadas em meados deste mesmo século, tendo a primeira competição internacional entre Alemanha e Inglaterra em 1832 (STEINACKER, 1993).

Com o passar das décadas o esporte foi se desenvolvendo, e o equipamento, que antes era um barco simples com remos acoplados, foi recebendo novas tecnologias, como o assento deslizável. Concomitante a isto novas modalidades surgiram, e as técnicas foram sendo aprimoradas para o ganho de performance (STEINACKER, 1993). Assim se chegou nas 14 categorias olímpicas (masculino e feminino) e 6 categorias paralímpicas (masculino, feminino e mista) (CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE REMO, 2023), sem contar com as competições não olímpicas regionais e internacionais, que temos atualmente (WORLD ROWING FEDERATION, 2023).

Apesar da técnica da remada possuir algumas variações, de acordo com as características fisiológicas e antropométricas dos remadores presentes em cada barco (SOPER; HUME, 2004), o princípio básico é comum a todos. A técnica se dá em um ciclo que é baseado em seis fases (Figura 1): a preparação, a entrada e início da propulsão, o final da propulsão, a finalização e o afastamento, e as duas fases de recuperação (BUCKERIDGE; BULL; MCGREGOR, 2014; NILSEN; DAIGNEAULT; SMITH, 2002).

Figura 1. Fases da Remada



I - Preparação; II - Entrada e início da propulsão; III - Final da propulsão; IV - Finalização e afastamento; V - Início da Recuperação; VI - Final da recuperação. Fonte: Adaptado de NILSEN; DAIGNEAULT; SMITH et al., 2002

O atleta inicia o movimento com o corpo em um ângulo de aproximadamente 45° em uma posição natural de modo que ele consiga realizar o deslizamento do banco de forma adequada transmitindo a força das pernas para a remada. (Fase I). Logo em seguida o atleta começa a estender as pernas transmitindo o peso para os pés e ao mesmo tempo começa a colocar os remos na água. (Fase II). O fim da remada se dá com a realização de força pelos músculos das costas, ombros e braços nesta ordem exata, de forma que o indivíduo puxe os remos transmitindo a força à eles. (Fase III). A finalização ocorre com a ativação dos ombros e braços e distribuição do peso atrás dos remos, promovendo um movimento mais eficaz (Fase IV). Por fim ocorre a recuperação, onde as pás são empurradas para frente de forma fluida, estendendo os braços e mãos primeiramente, e logo em seguida inclinando o corpo, alcançando a posição inicial do ciclo (Fase V e VI) (BUCKERIDGE; BULL; MCGREGOR, 2014; NILSEN; DAIGNEAULT; SMITH, 2002). Dessa forma o barco é propulsionado mantendo a maior velocidade possível com constância, de forma que a resistência da água e do ar sejam minimizadas, alcançando assim uma maior performance (SOPER; HUME, 2004).

O desempenho no remo competitivo depende não só desta técnica propriamente dita, mas também de diversos fatores que a permeiam, como a cinética (biomecânica do atleta, movimento dos remos e do assento) e a cinemática (posição do barco, velocidade, aceleração e a atitude

(orientação espacial de um corpo em relação a um sistema de coordenadas)) (MPIMIS; GIKAS; GOURGOULIS, 2023). Apesar dos treinadores dedicarem grande parte de seu tempo ao treino técnico, não existe uma diretriz que dite qual a técnica ideal para cada tipo de corpo, justamente pela variabilidade antropométrica e combinação de equipes nos barcos. De modo geral, os remadores de sucesso são mais altos, mais pesados, e possuem maiores comprimentos, larguras e circunferências dos membros (SOPER; HUME, 2004). Portanto, a fim de alcançar uma boa capacidade física e técnica, os remadores realizam altos volumes de treino, geralmente combinando treinos aeróbicos, de força e anaeróbicos. (FAELLI et al., 2022).

A maioria dos atletas de elite têm grande parte do seu protocolo baseado em treinamento de endurance extensos e intensos, com 70-80% do tempo ocorrendo na água, e com 10% do volume de treino acima do limiar anaeróbio, a fim de melhorar o consumo de oxigênio máximo (VO₂ máximo). Além disso, o volume de treino de força durante um ano do atleta fica em torno de 26-33%. Estes valores podem variar de acordo com a periodização de treinamento, tendo na fase de preparação maior ênfase em treinos de potência em altas velocidades e na fase competitiva maior ênfase na parte aeróbica. (MAESTU; JURIMAE; JURIMAE, 2005).

2.2 REMO E FADIGA

Sendo assim o remo é um dos esportes de endurance que geram mais demandas físicas, tendo aproximadamente 70% da musculatura ativa do corpo utilizada durante uma remada (ROY et al., 1990; YUSOF, 2022). Atletas profissionais, por exemplo, podem utilizar até 120% do potencial de força dos músculos extensores de quadril. Quando comparamos os níveis dos profissionais, atletas de nível internacional chegam a aplicar 40% a menos do potencial de força de atletas de nível nacional, podendo indicar que quanto maior o nível, mais eficiente é a forma de aplicação de força, realizando as contrações musculares de forma mais controlada e otimizando assim a performance. (SOPER; HUME, 2004)

Sabe-se que qualquer exercício extenuante pode ser doloroso, mas é a fase excêntrica que gera maior impacto quando falamos de dor tardia (Proske et al 2001). Estas dores são causadas tanto pela fadiga muscular no momento do treino, que se dá como uma sinalização funcional, quanto pelo dano muscular que sinaliza o impacto estrutural do exercício (APPELL; SOARES; DUARTE, 1992).

Quando falamos de fadiga gerada pelo exercício, estamos tratando da incapacidade de se manter a performance, por um aumento da demanda energética causada por estímulos externos intensos, os quais quebram a homeostase do organismo (TORNERO-AGUILERA et al., 2022). O processo é complexo e multifatorial, possuindo diversos modelos para defini-lo. Entretanto se dá pela relação entre diminuição na coordenação motora voluntária e diminuição de força contrátil (TORNERO-AGUILERA et al., 2022; WAN et al., 2017; TWOMEY et al., 2017).

O metabolismo energético tem grande impacto neste processo, já que as contrações musculares aumentam a demanda de energia, promovendo maior atividade do metabolismo de ressíntese de adenosina trifosfato (ATP). Dependendo da intensidade do exercício, a taxa de consumo de ATP supera a taxa de ressíntese, promovendo a falha do mecanismo. Assim ocorre acúmulo de fosfato inorgânico, lactato e íons hidrogênio (H⁺) diminuindo o pH muscular. Este processo de acidose, reduz a afinidade dos filamentos de actina pelo cálcio e prejudica a ligação destes com o filamento de miosina, que em conjunto com a redução de ATP disponível, dificulta o processo de contração muscular (TORNERO-AGUILERA et al., 2022; WAN et al., 2017; AMENT; VERKERKE, 2009).

Além disso, as alterações bioquímicas geradas por este desbalanço homeostático também impactam na condução dos potenciais de ação. O acúmulo de potássio nos túbulos T, por exemplo, diminui a velocidade dos potenciais e conseqüentemente causa descoordenação no processo excitação-contração (TORNERO-AGUILERA et al., 2022). A combinação destes fatores pode gerar uma redução da performance de atletas de alto nível, prejudicando seu desempenho em competições, podendo levar à fadiga crônica e ao desenvolvimento de lesões (DI DOMENICO; RAIOLA, 2021).

2.3 DANO MUSCULAR INDUZIDO PELO EXERCÍCIO (DMIE) E SEUS POSSÍVEIS MARCADORES

Além da fadiga, os processos de estresse metabólico, mecânico e oxidativo, causados pela prática de exercícios fatigantes, promovem o DMIE. (CLOSE et al; 2004) A fase de contração excêntrica realiza o alongamento das fibras musculares, a qual gera maior tensão e carga sobre o músculo. Assim ocorre o dano mecânico a nível celular, onde a integridade dos

microfilamentos e sua organização são modificadas, acompanhadas de dano à matriz extracelular e até à capilares. (CLARKSON; HUBAL, 2002)

Ademais, durante a atividade física ocorre um intenso consumo de oxigênio, devido a necessidade energética aumentada. Este processo provoca um aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs). Estas, são formadas devido à alta capacidade eletronegativa do oxigênio, que durante a cadeia transportadora de elétrons e outros processos oxidativos formam moléculas altamente reativas como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), hidroxila ($HO\cdot$) e superóxido ($O_2^{\cdot-}$). Entretanto a produção de EROs, em um estado de homeostase, é balanceada pelas enzimas e moléculas antioxidantes, que possuem a capacidade de reagir e evitar que elas interajam com outros substratos (NUNES SILVA, 2015). Quando o cenário de estresse oxidativo é estabelecido a capacidade antioxidante do organismo é insuficiente, e estas moléculas passam a causar danos: nas proteínas, por alterações químicas irreversíveis; nos lipídeos, por peroxidação de ácidos graxos de membrana e LDL plasmático; e nos ácidos nucleicos, por alterações estruturais das moléculas, gerando dano ao DNA (BERGAMINI et al., 2004).

As EROs, entretanto, não possuem apenas impacto negativo no metabolismo e no músculo. Estas moléculas são também importantes sinalizadores de vias de adaptação celular, sendo importante na ativação das respostas inflamatórias que proporcionaram a recuperação do tecido (POWERS et al., 2010). Assim, a inflamação se dá como uma resposta do organismo a danos e infecções, onde o aumento de permeabilidade da membrana e a infiltração de células do sistema imune e de proteínas plasmáticas, auxilia na regeneração de tecidos (MACINTYRE; REID; MCKENZIE, 1995).

Além do recrutamento de células do sistema imune, citocinas como a Interleucina-1 (IL-1), Interleucina-2 (IL2), Interleucina-6 (IL-6), Interleucina-10 (IL-10), fator de necrose tumoral ($TNF-\alpha$), interferon-gama ($IFN-\gamma$) e ligante de quimiocina 2 (CCL2) são secretadas. Estas possuem ações pró-inflamatórias e anti inflamatórias, balanceando a resposta, e agindo nos processos de quimiotaxia e regeneração muscular (PEAKE et al., 2017; MARKUS et al., 2021).

Apesar do seu papel regenerativo, estes mecanismos causam edema e aumento da temperatura do tecido. Em suma, o DMIE desencadeia a cascata inflamatória, que também aumenta a sensibilidade de nociceptores ao toque e alongamento devido à infiltração de moléculas pró-inflamatórias e edema no local atingido. Como consequência surge a dor muscular

de início tardio que se inicia de 8 a 24 horas após o exercício e tem seu pico entre 24 e 48h após (MACINTYRE; REID; MCKENZIE, 1995; OWENS et al., 2019).

Além disso, a permeabilidade aumentada permite que proteínas musculares extravasem para a circulação. Por este motivo, os marcadores inflamatórios no plasma e a presença de proteínas miofibrilares na corrente sanguínea podem ser utilizados como marcadores de DMIE (MARKUS et al., 2021). A creatina quinase e a lactato desidrogenase no plasma são as principais proteínas utilizadas como marcadores, devido ao menor custo, maior praticidade e a boa correlação com outros marcadores de DMIE, como contração máxima voluntária e amplitude do movimento (WARREN; LOWE; ARMSTRONG 1999; CHALCHAT et al., 2022).

Outros testes como a avaliação de dor muscular de início tardio por escala análoga visual também são descritos na literatura como marcadores indiretos de DMIE (RODRIGUES et al., 2016). Além disso, a redução da força muscular tanto durante quanto após o exercício intenso vem sendo observada em diversos estudos, e portanto testes como o teste de força de preensão manual e teste de força de membros inferiores podem ser alternativas para mensuração de dano muscular (ALLEN, 2001).

2.4 COMPOSIÇÃO CORPORAL E BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA

Desde o período grego clássico, Hipócrates atribuiu a saúde como o balanço dos quatro fluidos corporais, a civilização vem buscando estudar os constituintes que formam o corpo humano. Apesar do interesse pela composição corporal ter surgido há dezenas de séculos atrás, foi em 1921 a publicação do primeiro estudo sistemático de composição corporal, desenvolvido por Matiegka, com objetivo de estimar a eficiência física a partir da medida de dobras cutâneas (ANJOS & WAHRLICH, 2007; STEWART & SUTTON, 2012).

No século XX, diversos cientistas se aprofundaram nos conhecimentos sobre o assunto, incluindo: Behnke e Wilmore que desenvolveram um método hidrostático para avaliar a gordura corporal; William Siri e Josef Brozek que desenvolveram fórmulas para estimar a densidade de gordura corporal; William Sheldon que desenvolveu estudos sobre os somatotipos humanos; Durnin & Womersley e Jackson & Pollock que desenvolveram métodos densitométricos para avaliação corporal; Drinkwater e colaboradores que utilizaram de cadáveres para estimar a composição corporal, entre diversos outros de extrema importância para os estudos da

antropometria e cinesiologia humana (ANJOS & WAHRLICH, 2007; STEWART & SUTTON, 2012).

Assim, define-se a composição corporal como a expressão do peso corporal em compartimentos, utilizando de modelos anatômicos e químicos, que separam o corpo em tecidos ou em componentes químicos. O modelo químico atualmente é o mais utilizado e divide o corpo em gordura, água e proteína tecidual (ANJOS & WAHRLICH, 2007).

Os métodos utilizados são variados e classificados em diretos, indiretos e duplamente indiretos. Apesar dos métodos de referência, como a absorciometria de raio X (DEXA), a pesagem hidrostática e a pletismografia, terem maior precisão, não são acessíveis, utilizáveis em grande escala e práticos para a rotina de atletas. Assim é necessário recorrer a outros métodos que se adequem a realidade do âmbito esportivo (CAMPA et al., 2021).

Dessa forma, a BIA surge como um método com baixo custo, não invasivo, portátil, rápido e seguro que pode ser utilizado rotineiramente no mundo do esporte. O equipamento utiliza de uma corrente elétrica que passa pelo corpo do indivíduo para estimar a composição corporal através da estatura, do peso e da oposição dos tecidos à corrente elétrica. Os parâmetros de oposição dos tecidos são Z que se dá pela X_c , que mensura a capacitância das membranas celulares, e pela R , que mensura a força que o condutor biológico, no caso os líquidos extracelular (LEC) e intracelulares (LIC), se opõe à corrente (MALÁ; ZAHÁLKA; MALY, 2018; ANJOS & WAHRLICH, 2007). Estas variáveis são utilizadas em equações preditivas que estimam os diferentes compostos dos compartimentos corporais, dentre eles massa livre de gordura (MLG), massa gorda (MG) e água corporal total (ACT) (MOON, 2013; CAMPA et al., 2021).

2.5 ÂNGULO DE FASE (AF)

Uma forma de não depender das equações inseridas dentro dos equipamentos de BIA é utilizar as medidas cruas como parâmetros de estado celular: a R e X_c . Nesse contexto, o ângulo de fase (AF) é um parâmetro dado pelo arcotangente da relação X_c/R e indica a distribuição de LEC, LIC e da massa celular (LUKASKI; RAYMOND-POPE, 2021). Este vem sendo estudado em diversas situações de saúde, refletindo associações de funcionalidade e até mortalidade (GARLINI et al., 2019).

Diversos estudos analisaram o AF como medida de massa livre de gordura, risco de desnutrição e indicador de prognóstico, além de método de triagem de sarcopenia. Assim ele se mostra importante na investigação e manejo de doenças crônicas respiratórias, câncer, doenças do trato gastrointestinal, entre outras. De modo geral, em populações adultas saudáveis encontrou-se valores de AF entre 5-7%, de modo que valores abaixo destes geralmente refletem desfechos clínicos desfavoráveis (MUÑOZ-REDONDO et al., 2023). Entretanto deve-se atentar que além de idade, sexo, índice de massa corporal e composição corporal, já bem estabelecidos, outros fatores transitórios podem ter impacto nos resultados, como inflamação, desidratação e dano oxidativo (SANTIAGO et al., 2022; LUKASKI; GARCIA-ALMEIDA, 2023).

Posto isso, o AF parece ser uma forma acessível de mensurar saúde e integridade celular, e portanto, condições de saúde que promovam dano a nível celular estão diretamente relacionados a este parâmetro. Apesar da sua relação com inflamação e dano oxidativo (DA SILVA et al., 2022), consequências diretas do exercício físico de alta intensidade que promovem DMIE, a literatura associando AF e DMIE ainda se mostra escassa.

2.6 ANÁLISE VETORIAL DE BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA (BIVA)

Apesar da BIA e suas equações serem validadas para populações saudáveis, por outro lado, em populações com acúmulo de líquidos ou desidratação, a aplicação das equações podem gerar vieses, já que estes fenômenos podem ser indetectáveis até certo ponto (PICCOLI et al., 1994). Sendo assim, Piccoli et al. (1994) desenvolveram um método chamado de análise vetorial de bioimpedância elétrica (BIVA), que utiliza as variáveis da BIA (R e X_C), normalizadas pela altura (H) (R/H e X_C/H), plotando-as em um gráfico de elipses da população saudável, com limite de confiança de 95% (Figura 2).

Figura 2. Gráfico R/Xc de população referência

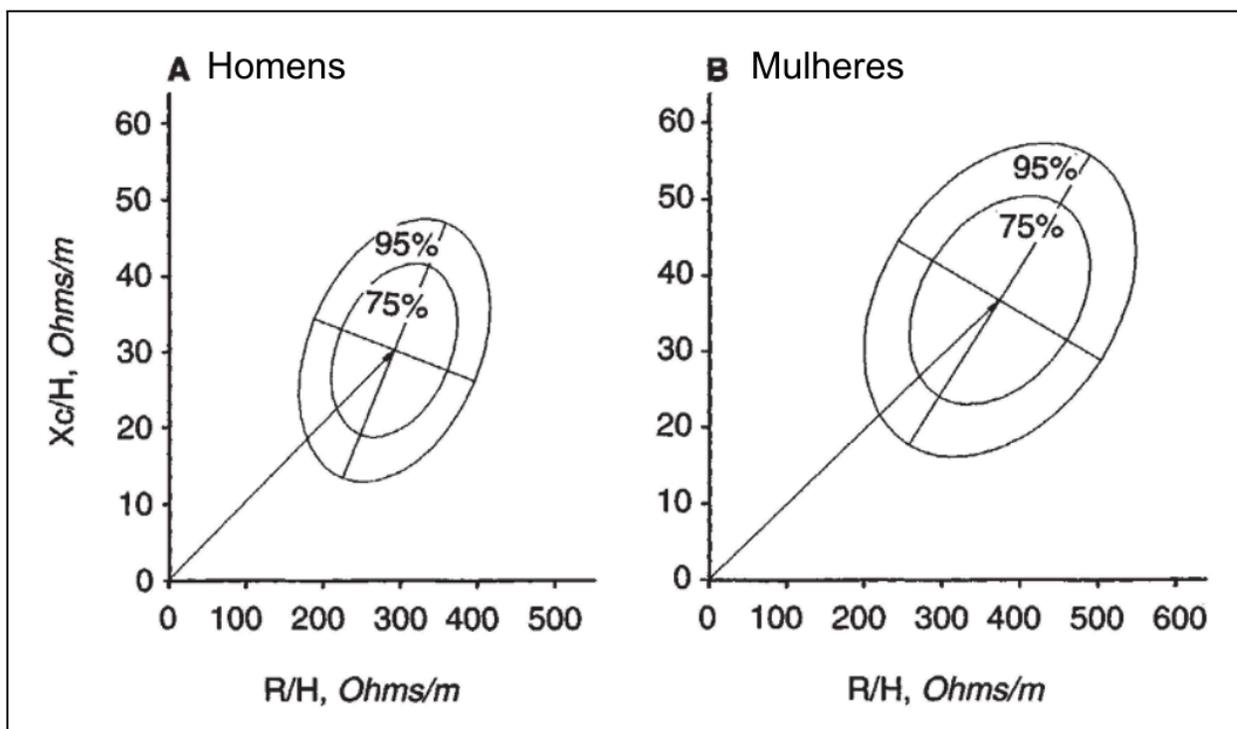


Gráfico plotado R/X_c com o vetor da população saudável plotado sobre a referência, sexo-específico com elipses de tolerância de 75% a 95% da população saudável. R = resistência; X_c =Reatância e H =estatura. Fonte: Adaptado de PICCOLI et al., 1994

O método foi desenvolvido focando em pacientes com doença renal (PICCOLI et al., 1994), entretanto, a BIVA vem cada vez mais sendo estudada no âmbito esportivo, por demonstrar hidratação e massa celular (Figura 3), o que é de grande interesse quando se busca avaliar mudanças longitudinais induzidas pelo exercício e criar estratégias, como de hidratação por exemplo. Além disso, já se sabe que a composição corporal em diversos esportes é fator chave para uma otimização da performance, e, portanto, o método pode auxiliar neste monitoramento (CASTIZO-OLIER et al., 2018; LUKASKI; RAYMOND-POPE, 2021).

Figura 3. Gráfico BIVA

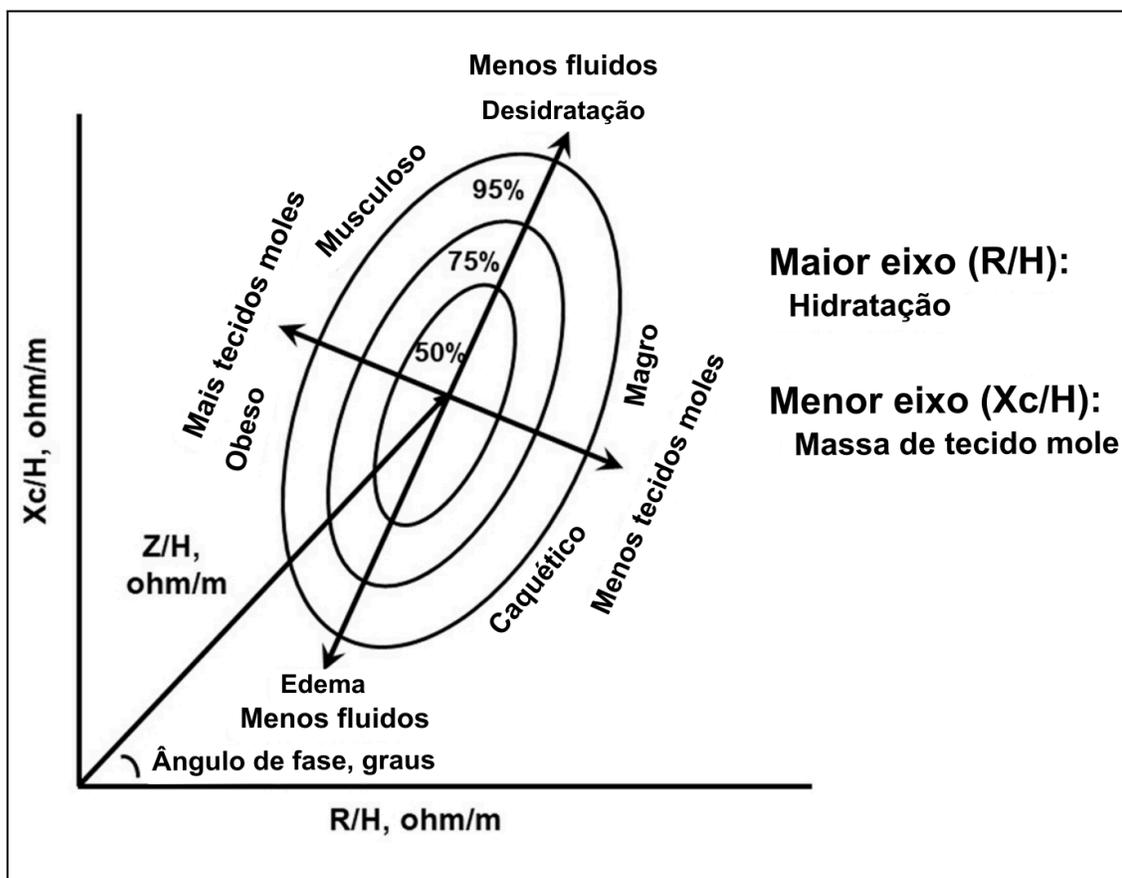


Ilustração de um gráfico RXc de adultos do sexo masculino caucasianos para classificar e rastrear o estado de tecido e fluidos. R= resistência; Xc=Reatância e H=estatura, Z=Impedância.Fonte: Adaptado de LUKASKI; RAYMOND-POPE, 2021

Ainda são escassos os dados de BIVA no ambiente esportivo, entretanto Cebrián-Ponce et al., (2023) utilizou a BIVA para analisar os fluidos corporais e mudanças musculares durante as fases do Giro d'Italia em ciclistas de elite. No estudo foi possível detectar mudanças na hidratação que corroboram com os biomarcadores de hidratação coletados. A BIVA também pareceu ser sensível à mudanças musculares localizadas, apesar de mais estudos serem necessários para compreender estas alterações bioelétricas (CEBRIÁN-PONCE et al., 2023).

Castizo-Olier et al., (2018) utilizou a BIVA para analisar mudanças na massa corporal de atletas de triatlon. As alterações no vetor do gráfico RXc parecem consistentes com a perda de fluidos observada. Além disso, a redução da Xc do pré ao pós prova parecem indicar redução de tecidos musculares, visto que já é bem estabelecido que o exercício de alta intensidade provoca dano a nível celular. Entretanto, no estudo não foram avaliados marcadores de dano muscular para afirmar esta relação (CASTIZO-OLIER et al., 2018).

3 JUSTIFICATIVA

O remo é uma modalidade esportiva que demanda alto volume de treino para o desenvolvimento das habilidades técnicas que permitem a transferência de forças no decorrer dos movimentos. Além disso, as competições e provas são alta intensidade exigindo das valências físicas dos atletas para se alcançar altas performances, podendo assim provocar dano muscular e fadiga nestes indivíduos.

Visto que o DMIE e a fadiga alteram a composição e integridade dos tecidos corporais, é de suma importância verificar a aplicabilidade de um método seguro, de baixo custo, não invasivo e portátil, para mensurar os impactos do treinamento no cotidiano de atletas. Identificar, avaliar a presença e a extensão do DMIE na prática pode ser complexo, sendo que normalmente é realizado por mais de um tipo de instrumento, onde muitas vezes a informação é obtida de forma subjetiva. Por suas características e associações com marcadores celulares já estabelecidas na literatura, o AF e o BIVA necessitam ser testados em situações de dano muscular para avaliar se existe relação com os marcadores já estudados. Dessa forma, o uso do aparelho de BIA poderia não só indicar variações crônicas de composição corporal, como também mudanças agudas celulares que podem estar associadas a carga de treinamento.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Verificar as alterações dos parâmetros da BIVA e AF em resposta ao teste de remo ergométrico de 2000 metros e suas associações com dano e fadiga muscular.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mensurar parâmetros de fadiga e dano muscular pré e pós-teste de 2.000m em remoergômetro.
- Descrever a variação do AF pré- e pós-teste no remoergômetro, 24 e 48 horas após.
- Avaliar a associação da variação do AF com dano muscular e fadiga em atletas de nível competitivo nacional.
- Classificar e avaliar o comportamento das variáveis de BIA no gráfico BIVA em todos momentos avaliados.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, D. G. Eccentric muscle damage: mechanisms of early reduction of force. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 171, n. 3, p. 311–319, Mar. 2001.
- AMENT, W.; VERKERKE, G. J. Exercise and fatigue. **Sports Medicine** (Auckland, N.Z.), v. 39, n. 5, p. 389–422, 2009.
- ANJOS LA, WAHRLICH V. Composição corporal na avaliação do estado nutricional. In: KAC G, SICHIERI R, GIGANTE DP, organizadores. **Epidemiologia nutricional**. Rio de Janeiro: Fiocruz; p.149-64. ISBN 978-85-7541-320-3. 2007.
- APPELL, H.-J. ; SOARES, J. M. C.; DUARTE, J. A. R. Exercise, Muscle Damage and Fatigue*. **Sports Medicine**, v. 13, n. 2, p. 108–115, Feb. 1992.
- ARMSTRONG, R. B. Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 529–538, 1984.
- BAUMERT, P. *et al.* Genetic variation and exercise-induced muscle damage: implications for athletic performance, injury and ageing. **European Journal of Applied Physiology**, [s. l.], v. 116, n. 9, p. 1595–1625, 2016.
- BERGAMINI, C. *et al.* Oxygen, Reactive Oxygen Species and Tissue Damage. **Current Pharmaceutical Design**, [s. l.], v. 10, n. 14, p. 1611–1626, 2004.
- BUCKERIDGE, E. M.; BULL, A. M. J.; MCGREGOR, A. H. Biomechanical determinants of elite rowing technique and performance. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 25, n. 2, p. e176–e183, 9 Jul. 2014.
- CAMPA, F. *et al.* Assessment of Body Composition in Athletes: A Narrative Review of Available Methods with Special Reference to Quantitative and Qualitative Bioimpedance Analysis. **Nutrients**, v. 13, n. 5, p. 1620, 12 May 2021.
- CAMPA, F. *et al.* Effect of resistance training on bioelectrical phase angle in older adults: a systematic review with Meta-analysis of randomized controlled trials. **Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 439–449, 2023.
- CASTIZO-OLIER, J. *et al.* Bioelectrical Impedance Vector Analysis (BIVA) and Body Mass Changes in an Ultra-Endurance Triathlon Event. **Journal of Sports Science & Medicine**, v. 17, n. 4, p. 571–579, 20 Nov. 2018.
- CASTIZO-OLIER, J. *et al.* Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) in sport and exercise: Systematic review and future perspectives. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 13, n. 6, p. e0197957, 2018.

CEBRIÁN-PONCE, Á. et al. Bioelectrical, Anthropometric, and Hematological Analysis to Assess Body Fluids and Muscle Changes in Elite Cyclists during the Giro d'Italia. **Biology**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 450, 2023.

CHALCHAT, E. et al. Appropriateness of indirect markers of muscle damage following lower limbs eccentric-biased exercises: A systematic review with meta-analysis. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 17, n. 7, p. e0271233, 2022.

CLARKSON, P. M.; HUBAL, M. J. Exercise-Induced Muscle Damage in Humans: **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, [s. l.], v. 81, n. Supplement, p. S52–S69, 2002.

CLOSE, G. L. et al. Eccentric exercise, isokinetic muscle torque and delayed onset muscle soreness: the role of reactive oxygen species. **European Journal of Applied Physiology**, v. 91, n. 5-6, p. 615–621, 1 May 2004.

CLOSE, G. L. et al. The emerging role of free radicals in delayed onset muscle soreness and contraction-induced muscle injury. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 142, n. 3, p. 257–266, Nov. 2005.

CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE REMO - Categorias de Remo. Disponível em: <<https://www.remobrasil.com/remo/sobre-o-remo/1069-categorias-de-remo>>. Acesso em: 6 Dez. 2023.

DA SILVA, B. R. et al. Phase angle and cellular health: inflammation and oxidative damage. **Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders**, 7 Dec. 2022.

DI DOMENICO, F.; RAIOLA, G. Effects of training fatigue on performance. Em: JOURNAL OF HUMAN SPORT AND EXERCISE - 2021 - AUTUMN CONFERENCES OF SPORTS SCIENCE, 2021. **Journal of Human Sport and Exercise - 2021 - Autumn Conferences of Sports Science**. [S. l.]: Universidad de Alicante, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10045/113689>. Acesso em: 6 Dez. 2023.

FAELLI, E. et al. High-Intensity Interval Training for Rowing: Acute Responses in National-Level Adolescent Males. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 19, n. 13, p. 8132, 2022.

GARLINI, L. M. et al. Phase angle and mortality: a systematic review. **European Journal of Clinical Nutrition**, [s. l.], v. 73, n. 4, p. 495–508, 2019.

HOTFIEL, T. *et al.* Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and Diagnostics. **Sportverletzung · Sportschaden**, [s. l.], v. 32, n. 04, p. 243–250, 2018.

JONES, D. A. et al. Experimental human muscle damage: morphological changes in relation to other indices of damage. **The Journal of Physiology**, v. 375, n. 1, p. 435–448, 1 Jun. 1986.

LUKASKI, H.; RAYMOND-POPE, C. J. New Frontiers of Body Composition in Sport. **International Journal of Sports Medicine**, 23 Feb. 2021.

LUKASKI, H. C.; GARCIA-ALMEIDA, J. M. Phase angle in applications of bioimpedance in health and disease. **Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 367–370, 2023.

MACHADO, M. et al. Effect of Varying Rest Intervals Between Sets of Assistance Exercises on Creatine Kinase and Lactate Dehydrogenase Responses. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 5, p. 1339–1345, May 2011.

MACINTYRE, D.L., REID, W.D. & MCKENZIE, D.C. Delayed Muscle Soreness. **Sports Medicine**. 20, 24–40 (1995).

MAESTU, J.; JURIMAE, J.; JURIMAE, T. Monitoring of Performance and Training in Rowing. **Sports Medicine**, [s. l.], 35(7):597-617, 2005.

MALÁ, L.; ZAHÁLKA, F.; MALY, T. Bioimpedance for Analysis of Body Composition in Sports. Em: SIMINI, F.; BERTEMES-FILHO, P. (org.). **Bioimpedance in Biomedical Applications and Research**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 243–256. E-book. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-74388-2_12. Acesso em: 6 dez. 2023.

MARINI, E. *et al.* Phase angle and bioelectrical impedance vector analysis in the evaluation of body composition in athletes. **Clinical Nutrition**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 447–454, 2020.

MARKUS, I. et al. Exercise-induced muscle damage: mechanism, assessment and nutritional factors to accelerate recovery. **European Journal of Applied Physiology**, [s. l.], v. 121, n. 4, p. 969–992, 2021.

MESSONNIER, L. *et al.* Rowing Performance and Estimated Training Load. **International Journal of Sports Medicine**, [s. l.], v. 26, n. 5, p. 376–382, 2005.

MOON, J. R. Body composition in athletes and sports nutrition: an examination of the bioimpedance analysis technique. **European Journal of Clinical Nutrition**, [s. l.], v. 67, n. S1, p. S54–S59, 2013.

MPIMIS T.; GIKAS, V.; GOURGOULIS V. A Rigorous and Integrated On-Water Monitoring System for Performance and Technique Improvement in Rowing. **Sensors**, v. 23, n. 13, p. 6150–6150, 4 Jul. 2023.

MUÑOZ-REDONDO, E. et al. Low Phase Angle Values Are Associated with Malnutrition according to the Global Leadership Initiative on Malnutrition Criteria in Kidney Transplant Candidates: Preliminary Assessment of Diagnostic Accuracy in the FRAILMar Study. **Nutrients**, v. 15, n. 5, p. 1084–1084, 21 feb. 2023.

- NILSEN, T. S.; DAIGNEAULT, T.; SMITH, M. The FISA Coaching Development Programme: Handbook – Level II. **FISA - The International Rowing Federation**. [s. l.], 2002
- NORMAN, K. *et al.* Bioelectrical phase angle and impedance vector analysis – Clinical relevance and applicability of impedance parameters. **Clinical Nutrition**, [s. l.], v. 31, n. 6, p. 854–861, 2012.
- NUNES SILVA, A. The Association between Physical Exercise and Reactive Oxygen Species (ROS) Production. **Journal of Sports Medicine & Doping Studies**, [s. l.], v. 05, n. 01, 2015. Disponível em: <https://www.omicsonline.org/open-access/the-association-between-physical-exercise-and-reactive-oxygen-species-2161-0673.1000152.php?aid=33083>. Acesso em: 6 dez. 2023.
- OWENS, D. J. *et al.* Exercise-induced muscle damage: What is it, what causes it and what are the nutritional solutions?. **European Journal of Sport Science**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 71–85, 2019.
- PEAKE, J. M. *et al.* Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. **Journal of Applied Physiology**, [s. l.], v. 122, n. 3, p. 559–570, 2017.
- PICCOLI, A. *et al.* A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: The RXc graph. **Kidney International**, v. 46, n. 2, p. 534–539, Aug. 1994.
- POWERS, S. K. *et al.* Reactive oxygen species are signaling molecules for skeletal muscle adaptation. **Experimental Physiology**, [s. l.], v. 95, n. 1, p. 1–9, 2010.
- PROSKE, U.; MORGAN, D. L. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. **The Journal of Physiology**, [s. l.], v. 537, n. 2, p. 333–345, 2001.
- RODRIGUES, P. *et al.* Time-course of changes in indirect markers of muscle damage responses following a 130-km cycling race. **Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 322, 2016.
- ROY SH, DE LUCA CJ, SNYDER-MACKLER L, EMLEY MS, CRENSHAW RL, LYONS JP. Fatigue, recovery, and low back pain in varsity rowers. **Medicine & Science in Sports & Exercise**. 22(4):463-9. PMID: 2144887. Aug. 1990
- SANTIAGO, L. B. *et al.* Phase angle as a screening method for sarcopenia in community-dwelling older adults. **Revista de Nutrição**, [s. l.], v. 35, p. e200243, 2022.
- SCHOENFELD, B. J. The Mechanisms of Muscle Hypertrophy and Their Application to Resistance Training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, [s. l.], v. 24, n. 10, p. 2857–2872, 2010.
- SMITH, T. B.; HOPKINS, W. G. Measures of Rowing Performance. **Sports Medicine**, v. 42, n. 4, p. 343–358, abr. 2012.

SOPER, C., HUME, P.A. Towards an Ideal Rowing Technique for Performance. **Sports Medicine** 34, 825–848, 2004.

STEINACKER, J. M. Physiological aspects of training in rowing. **International Journal of Sports Medicine**, [s. l.], v. 14 Suppl 1, p. S3-10, 1993.

STEWART, A. D.; SUTTON, L. Body composition in sport, exercise, and health. [s.l.] **Abingdon Routledge**, 2012.

TORNERO-AGUILERA, J. F. et al. Central and Peripheral Fatigue in Physical Exercise Explained: A Narrative Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 19, n. 7, p. 3909, 2022.

TWOMEY, R. et al. Neuromuscular fatigue during exercise: Methodological considerations, etiology and potential role in chronic fatigue. **Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology**, [s. l.], v. 47, n. 2, p. 95–110, 2017.

WAN, J. et al. Muscle fatigue: general understanding and treatment. **Experimental & Molecular Medicine**, v. 49, n. 10, p. e384, 6 Oct. 2017.

WARREN, G. L.; LOWE, D. A.; ARMSTRONG, R. B. Measurement Tools Used in the Study of Eccentric Contraction-Induced Injury. **Sports Medicine**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 43–59, 1999.

WORLD ROWING - Events list. Disponível em: <<https://worldrowing.com/events-list/>>. Acesso em: 6 dez. 2023.

YUSOF, A. A. M. *et al.* Rowing Biomechanics, Physiology and Hydrodynamic: A Systematic Review. **International Journal of Sports Medicine**, [s. l.], v. 43, n. 07, p. 577–585, 2022.